

华北土石山区水源保护林小流域土壤侵蚀过程的模拟研究*

秦永胜^{1,-} 刘松¹ 余新晓² 王小平¹ 周金星³

(1 北京市林业局, 北京 100029)

(2 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

(3 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091)

摘要 根据对试验流域土地利用现状的实地调查, 在 GIS 技术的支持下, 结合林冠截留模型、枯落物糙率系数模型、SCS 水文模型、径流小区产沙量经验模型、栅格单元泥沙输移量模型, 以试验流域空间数据库和属性数据库为基本参数输入, 对试验流域 1996~1998 年 8 场典型降雨土壤侵蚀量的空间分布进行了模拟。模拟结果显示, 裸荒地场降雨产沙量占场降雨侵蚀总量的 92.47%~100%, 水源保护林地(包括刺槐和油松林地)的产沙量占总侵蚀量的 15.23%~7.53%, 水源保护林的土壤侵蚀控制效应非常显著。对试验流域 1997-07-31 和 1998-07-05 两场典型降雨径流量和侵蚀量的模型检验显示, 模拟误差分别为 -3.24%、+10% 和 +32.3%、+39.34%。

关键词 水源保护林; 土壤侵蚀模拟; 地理信息系统; 华北土石山区

中图分类号 S157 文献标识码 A

随着人类生产力水平的提高和科学技术的不断进步, 现代社会经济发展与生态过程的联系日益紧密, 自然资源—生态环境—经济发展之间的矛盾已经成为制约各国经济持续发展的焦点, 可持续的土地管理是协调环境和生态问题的关键^[1]。我国的首都北京是一个水资源严重匮乏和生态环境非常脆弱的地区, 人均水资源占有量不足 300 m³, 为全国平均值的 15%, 自然灾害频繁发生, 严重的水土流失不仅给库区人民的生命财产造成巨大的损失, 而且大量的泥沙淤积也威胁着密云水库库区的生态环境和首都的供水安全。因此, 密云水库流域水源保护林建设和可持续的土地资源管理就成为一项战略性的重点工程, 对提高集水区的蓄水能力、改善水质、保障首都供水安全和促进当地社会经济的发展具有重要意义。

地理信息系统(GIS)早在 20 世纪 90 年代就被世界范围内的学者和决策者用于自然资源的研究、定位和管理^[2], GIS 技术与各种水文模型的耦合研究已经成为当前水文学研究的热点。本文根据长期试验观测和研究成果, 通过水文泥沙模型与 GIS 的

耦合, 对试验流域的 1996~1998 年土壤侵蚀量的空间分布进行模拟, 直接展示了水源保护林在小流域尺度上的土壤侵蚀控制效果和作用机理。

1 试验流域概况

土门西沟流域位于密云县北庄乡, 地处密云水库东岸水源保护林二级保护区内, 大致为 40°40' N、116°20' E, 包括西沟、果家沟、陈家沟三条小沟, 面积 3.3 km², 总人口 330 人。地貌为低山丘陵类型, 海拔高度 242~781.4 m, 地形陡峻, 其中坡度大于 25°的面积占总面积的 47.5%, 整体轮廓呈圆叶形。在海拔 400 m 以上多为白云岩, 其他部分为片麻岩、花岗岩。土壤以筒育干润淋溶土和雏形土为主, 坡地土质为壤质和石砾质, 沟谷阶地则为壤质和沙质土, 土层瘠薄肥力较差, 厚度一般小于 50 cm。在海拔 500 m 以上的地方, 除基岩裸露的地方和土层较薄的陡坡以外, 基本为阔叶次生林、乔灌混交林和草灌荒坡地; 海拔 500 m 以下的地段则以人工油松林、刺槐林、山地果园等为主。90 年代初以来一直作为二级

* 国家自然科学基金重点项目(基金编号: 50239089 1-3)和面上基金(基金编号: 40201032)资助

- 通讯作者

作者简介: 秦永胜(1972~), 男, 博士, 高级工程师。主要研究方向为森林水文和流域管理。E-mail: qinyys@bfdic.com.

收稿日期: 2003-12-03; 收到修改稿日期: 2004-04-27

保护区水源保护林建设的示范点。

2 试验流域地理信息数据库的建立

试验流域地理信息数据库包括流域空间数据库和属性数据库两部分。空间数据库主要包括流域数字地形模型(DEM)、土地利用现状图、坡度图和土壤类型图等。属性数据库主要指与流域空间数据库相联结的属性数据,包括各种有关的土地利用、土壤属性、植被状况等数据。属性数据与空间数据通过关键字段可以实现关联。为了满足制图、DEM和水文沿程分析的需要,空间数据库要分别以矢量格式和栅格格式进行存储,矢量图像可以通过矢量转栅格功能转换成栅格图像。利用试验流域 1:10 000 地形图和地块图经数字化输入 ARC/INFO 系统,经过处理即可完成 Coverage 创建,为了水沙沿程演算和土壤侵蚀空间模拟的需要,土地利用现状图也必须栅格化,本文中栅格单元为 100 m^2 ($10\text{ m} \times 10\text{ m}$)。为了提高最终模拟精度和可信度, 3.3 km^2 的试验流域被划分为 147 个地块,并储存在地块属性数据库中,它包含了模拟所需的所有参数。

3 试验流域土壤侵蚀模型系统的建立

许多模型如 CREAMS 和 WEPP 等,采用连续模拟的方法来模拟产流过程,它要求大量的气象、土地利用等与土壤侵蚀间接相关的数据,而且对那些较小的“无效”场降雨也进行模拟。对于华北土石山区来说,年土壤侵蚀量主要来自 6~9 月少数的几场较大降雨,因此,我们采用基于场降雨的土壤侵蚀模拟方法。但是,场降雨土壤侵蚀模拟在确定场降雨初始状态的输入数据时比较困难^[3],因此,如何确切的定量表述这些复杂变量是土壤侵蚀过程模拟的首要问题。根据影响产流产沙的主要影响因子,侵蚀模型系统主要包括如下几个模块。

3.1 截留模型

降雨进入森林植被生态系统首先经冠层进行第一次分配,从坡面水流模拟的角度看,冠层对净雨率的影响可由下述指数衰减方程来刻画: $i(x, t) = (C_s - C_0) \exp(-kt)$ 。式中, $i(x, t)$ 为林冠截流强度; C_s 林冠饱和截流容量; C_0 为林冠初始持水量;

i 为林冠截流强度衰减指数。

根据对试验区多年林冠截留降雨特性的研究可得:

$$\text{油松林地, } I_c = 1.884 \left[1 - \exp\left(-\frac{PC}{1.884}\right) \right] + 0.078P; R^2 = 0.6762^{**}; n = 51。$$

$$\text{刺槐林地, } I_c = 0.443 \left[1 - \exp\left(-\frac{PC}{0.4432}\right) \right] + 0.0709P; R^2 = 0.9343^{**}; n = 22。$$

式中 I_c 为截留量, P 为降雨量, C 为林冠郁闭度。然而在土门西沟小流域内,虽然油松和刺槐为主要的水源保护林林种,但仍然有其他林种存在,为了模拟计算的方便,本文把针叶林的截留量按油松截留模型来计算,阔叶林截留量按刺槐林截留模型来计算。

3.2 枯落物糙率系数模型

由于地被物层对地表径流的影响从本质上可以归结为对水流阻力的影响,可用经典的曼宁公式中的 n 值来表示^[4]。林地对坡面径流的阻延作用主要反映在坡面粗糙度系数的变化上。因为粗糙度系数的大小能决定坡面流速的大小和坡面汇流时间的长短^[5]。对于本研究区不同林地枯落物的糙率系数值,采用秦永胜^[6]的方法计算,即 $n = c + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$ 。式中: c 、 a_1 、 a_2 、 a_3 均为常数, X 为枯落物厚度。

3.3 径流量计算模型

土壤水蚀与降雨和径流紧密相关,地表径流是决定水蚀的最重要因素。流域土壤侵蚀模拟必须以径流的产生和沿程演算为前提。当到达地表的净雨强超过入渗率和满足填洼时,就会产生地表径流。在考虑土壤侵蚀、水质保护及污染物的输移过程时,坡面产流产沙模型建立就成为关键问题^[7]。

针对本区自然条件和地形地貌特点,吴长文⁽¹⁾、张志强⁽²⁾等从水动力学的角度,利用中型人工降雨实测数据,采用 Saint Venant 方程、连续方程、动量方程等模型经过一定程度的简化,获得了稳定降雨条件下适合于本区坡面地表径流计算的解析解和数值解模型,从数学物理方法的角度,阐明了森林植被影响地表径流过程的物理学机制。

由于天然降雨出现均匀降雨(或恒定雨强)的可能性很小,所以,从理论上讲,适用于人工降雨条件

(1) 吴长文. 北京密云水库水源保护林水土保持效益的研究. 北京林业大学博士学位论文, 1994

(2) 张志强. 密云水库水源保护林水文功能及其作用机理研究. 北京林业大学博士学位论文, 1999

的坡面产流模型和入渗模型不能应用于天然降雨条件。为此,本试验流域径流量的计算采用美国农业部水土保持局开发研制的 SCS 小流域设计洪水模型,因为它充分考虑了流域下垫面对地表径流的影响,并将它有效地纳入水文模型的计算之中,更有模型结构简单、使用方便和应用范围广的优点。通过地块栅格径流量的计算,经过 DEM 水文沿程分析,演算到流域出口即可完成流域的水文模拟。

SCS 产流模型: $Q = \frac{(P - 0.2s)^2}{p + 0.8s} \quad p > 0.2s; \quad Q = 0,$

$p < 0.2s; \quad s = 254 \left[\frac{100}{C_n} - 1 \right]$

式中, Q 为地表径流量(mm); p 为降雨量(mm); s 为滞留参数; C_n 为曲线数。

C_n 是反映降雨前流域特征的一个综合参数,它与流域降雨前期土壤湿度(AMC)、坡度、植被、土壤类型和土地利用现状等有关。SCS 产流模型把前期土壤湿度分为三级: AMC I 为干旱情况, AMC II 为正常情况, AMC III 为湿润情况,具体确定时以此次降雨前 5 天的降雨量为依据,如表 1 所示。 C_{n1} 、 C_{n2} 、 C_{n3} 分别为对应于 AMC I、AMC II、AMC III 的 C_n 值。 C_{n1} 和 C_{n3} 都可以通过 C_{n2} 转换得来,其关系式如式(1)和(2)。

$$C_{n1} = C_{n2} - \frac{20(100 - C_{n2})}{100 - C_{n2} + \exp[2.533 - 0.0636(100 - C_{n2})]} \quad (1)$$

$$C_{n3} = C_{n2} \exp[0.00673(100 - C_{n2})] \quad (2)$$

表 1 SCS 模型前期土壤湿润程度等级划分

Table 1 Grading of soil moisture before the events

前期土壤湿润程度等级 The level of soil moisture before the event	前 5 天总雨量 Total rainfall 5 days before the event (mm)
AMC I	< 35.56
AMC II	35.56~ 53.34
AMC III	> 53.34

根据不同土地利用单元的 C_{n2} 值,依据不同场降雨前期土壤湿润程度等级的划分,分别经过 C_{n2} 的转换便可得到不同场降雨的 C_{n1} 、 C_{n3} 的值,即可解算地块产流量。产流量计算主要采用 VB 语言编程的方法,通过对相关参数与输入数据(包括地块编号、覆盖度、利用类型、 C_n 值、前 5 天降雨量、及场降雨量)分析计算得出。

自然坡面在接受降雨的产流过程中,由于雨滴

击溅和地表糙率的影响,坡面径流不可能是层流。因此,采用曼宁公式来计算地表水流流速,一是由于曼宁公式广泛应用于水文工程中,输入数据简单易得,而且应用曼宁公式解算天然坡面地表水流流速,避开了坡面水流是层流或紊流的界定问题^[3]。

3.4 土壤侵蚀模型

地表径流作为侵蚀泥沙的载体,其发生过程和产流量的大小与土壤侵蚀过程和产沙量的大小密切相关。虽然很多学者采用多种方法求得了本区稳定降雨条件下有林地和无林地土壤侵蚀过程计算的物理机制模型。然而,由于该模型计算的影响因子非常复杂,难以采用数学物理的方法来准确表达天然条件下土壤侵蚀的发生过程,因此,经验方程(特别是幂函数方程)常常用于估计土壤侵蚀过程中土壤颗粒的剥离和搬运^[8]。

根据对不同尺度水源保护林地土壤侵蚀特征的观测和分析结果,选取与栅格单元大小相同的人工径流小区的土壤侵蚀模型作为栅格计算模型。场降雨的侵蚀量计算,与产流过程的分析与计算严格对应,通过 AML 程序语言在 ARC/INFO 中对各栅格进行计算,结合栅格输移模型获得流域总产沙量。

$$\text{油松: } S = 0.035Q^{0.87} e^{-3.5C} \quad R^2 = 0.804^{**} \quad n = 63$$

$$\text{刺槐: } S = 0.046Q^{0.88} e^{-0.83C} \quad R^2 = 0.80^{**} \quad n = 51$$

$$\text{裸荒地: } S = 0.046Q^{0.88}$$

式中: S 为土壤侵蚀量(kg); Q 为径流量(L); C 为覆盖度(%)。

3.5 泥沙输移模型

泥沙输移过程必须采用空间分布的方法来模拟,因为流域的产沙量来自流域的不同部位。分布式的模拟方法考虑了流域内部的变异并认为:(a) 坡度比较小的下游区域具有较小的输移比;(b) 流域泥沙的大部分来自于占流域很小比例的个别部位;(c) 接近于主沟的陡坡区域是主要的侵蚀与产沙区,而距主要沟网较远的陡坡区域虽然易于产生侵蚀,但并不是主要的产沙区^[9]。在特定的时间间隔内,从侵蚀源地通过坡面和沟道搬运到流域出口的泥沙量可以采用侵蚀模型与输移方程结合的方法来预测^[10]。在流域尺度上,物理机制的模拟方法需要把一个流域划分成更小的地块或地貌单元,分别模拟每一个单元内土壤颗粒的剥蚀、搬运和沉积。因此,对流域内不同单元的泥沙输移过程的模拟就需要把空间分布模型与 GIS 进行耦合来完成。

然而,在多年平均的年的时间尺度上,沟道部分的泥沙输移问题可以忽略。对于具有永久沟道网

络,但没有发育很好的山前洪积平原的小流域,在进行场降雨的侵蚀模拟时,沟道系统的输移问题也可以忽略^[9]。

根据张志强对研究区土壤进行的粒径级配分析数据,可得本区林地的中值粒径(d_{50})一般约 120 μm ,而裸荒地的中值粒径(d_{50})一般约 150 μm 。据此,结合 EUROSEM 模型侵蚀泥沙搬运能力公式可知本区泥沙的搬运能力计算式为:

$$\text{林地: } TC = 0.033(\theta u - 0.4)^{0.77}$$

$$\text{裸荒地: } TC = 0.033(\theta u - 0.4)^{0.82}$$

因此,某一栅格的泥沙输移量的计算式为: $S_t = Q \times TC$ 。式中, TC 表示输移能力, θ 表示坡度, u 表示流速。

4 水源保护林小流域土壤侵蚀过程模拟

对试验流域不同土地利用单元土壤侵蚀空间分

布的模拟,必须要完成地表径流在流域空间上汇流过程及汇流网络的模拟,必须能够模拟在多种外因作用下,流域内不同土地利用单元的土壤侵蚀及其传递过程。对地表径流从分水岭到流域出口汇流过程的模拟,首先要基于 ARC/INFO 软件数字高程模型(DEM)对径流方向、流路和汇流网络的分析,然后根据输入降雨参数、土地利用单元属性、坡度、坡长来实现地表径流的演算模拟。

根据对试验流域水源保护林不同林种土壤侵蚀观测成果和截留、坡面产流、产沙模型、泥沙输移模型,借助编程的方法,结合地理信息系统,在对坡面水流模拟的基础上,将每一个地块的产流产沙状况与流域属性数据库关联,可以将流域内不同地块的水沙量演算到流域出口,从而计算出在输入降雨和控制参数的条件下,流域不同地块及总产沙量。

本文以 1996~1998 年 8 场典型产流降雨(降雨特征如表 2 所示)为输入变量,依据前述模型,对比

表 2 土壤侵蚀模拟典型场降雨特征

Table 2 Characteristics of typical rainfall used in soil erosion modeling

降雨场次 Event (YYYY-MM-DD)	雨量 Rainfall (mm)	历时 Duration (min)	前 5 天降雨总量 Total rainfall 5 days before event(mm)	最大 10min 雨强 $I_{10}(\text{mm min}^{-1})$	最大 15min 雨强 $I_{15}(\text{mm min}^{-1})$	最大 30min 雨强 $I_{30}(\text{mm min}^{-1})$
1996-07-30	74.1	1 120	36.0	1.0	1.0	0.88
1996-08-02	32.5	1 420	75.6	0.25	0.23	0.16
1996-08-05	35.3	960	54.4	0.56	0.46	0.30
1996-08-09	38.2	1 010	49.6	0.46	0.37	0.31
1997-07-19	120.3	490	0.80	1.09	1.03	0.88
1997-07-31	140.9	1 090	56	1.67	1.38	1.08
1998-07-05	78.6	920	19.4	0.7	0.67	0.52
1998-07-12	62.0	820	1.9	0.6	0.57	0.47

表 3 试验流域典型场降雨土壤侵蚀模拟成果表

Table 3 Results of soil erosion modeling under typical rainfall events

降雨场次 Event (YYYY-MM-DD)	产流量 Discharge (m^3)	总侵蚀量 Total sediment(t)	裸荒地侵蚀量 Sediment of barren land(t)	裸荒地侵蚀量占 总侵蚀量百分比 Percentage of sediment of barren land in the total sediment(%)	刺槐林地侵蚀量 Sediment of Black Locust stand(t)	油松林地侵蚀量 Sediment of pine stand(t)
1996-07-30	11 330	194.5	188.4	96.86	5.89	0.22
1996-08-02	5 742	63.52	62.28	98.05	1.17	0.07
1996-08-05	380.2	1.68	1.68	100.0	0.00	0.00
1996-08-09	631.7	5.19	5.19	100.0	0.00	0.00
1997-07-19	8 151	138.0	134.6	97.49	3.34	0.13
1997-07-31	188 300	2 674	2 266	84.77	389.8	17.4
1998-07-05	863.1	10.59	10.59	100.0	0	0
1998-07-12	162.5	0.371	0.371	100.00	0	0

分析水源保护林地及其对比荒地的场(或年)降雨产流产沙特性,进而评价其侵蚀控制效果。

通过 ARC/INFO 地理信息系统模拟演算,可以得到每一地块单元在某一特定降雨条件下的径流量和土壤侵蚀量,进而汇总可得如表 3 所示模拟结果。从表中可知,裸荒地场降雨产沙量占场降雨侵蚀总量的 84.77%~100%,水源保护林地(包括刺槐和油松林地)的产沙量占总侵蚀量的 15.23%~0%,水源林地与裸荒地的土壤侵蚀量是数量级上的差别,水源保护林的土壤侵蚀控制效应非常显著。

5 土壤侵蚀模拟结果检验

在当前的森林水文模拟中,由于不同地区自然条件变异的极端复杂性、不可测性以及数据采集手段的严重滞后,致使在当今数不胜数的水文模型中没有任何一个模型具有普适性。模型的检验和灵敏度分析,

仍然是模型研究的重要内容,也是模型推广应用的主要障碍。为此,我们根据试验流域复式断面棱柱体测流槽对 1997-07-31 和 1998-07-05 两场典型降雨的监测结果,对本模型的模拟结果进行初步检验。

试验流域测流槽断面设计如图所示,测流槽由一个三角槽上接一个矩形槽复合而成,矩形槽宽 2.96 m,槽高 2.5 m,三角槽高 0.493 m,测流槽底纵坡 $i=0.004$ 。测流断面的水深 H 与水力半径 R 的关系如表 4。

根据水力学原理可知,混凝土糙率系数一般为 0.013~0.017 之间,但试验流域量水堰表面粗糙,本文取 0.02,利用谢才公式可以计算场降雨试验流域的产流量。

试验流域量水堰 1997-07-31 和 1998-07-05 两次实测径流量和产沙量如表 5 所示。悬移值输沙量根据实测径流泥沙含量求得,推移质输沙量通过清淤计算得来,泥沙密度为 1.50 t m^{-3} 。

表 4 测流断面的水深与水力半径关系

Table 4 Relationship between water depth (H) and hydraulic radius (R)

水深 H (m)	水力半径 R (m)	水深 H (m)	水力半径 R (m)	水深 H (m)	水力半径 R (m)
0.05	0.02	0.4	0.19	1.5	0.73
0.1	0.05	0.45	0.21	1.7	0.78
0.15	0.07	0.5	0.24	1.9	0.83
0.2	0.09	0.7	0.38	2.1	0.87
0.25	0.12	0.9	0.49	2.3	0.91
0.3	0.14	1.1	0.58	2.5	0.94
0.35	0.17	1.3	0.66		

表 5 试验流域典型场降雨土壤侵蚀量实测值与模拟值

Table 5 Total discharge and sediment volume of simulation and field observation

降雨场次 Event	实测产流量 Measured discharge (m^3)	模拟产流量 Simulated discharge (m^3)	误差 Error (%)	实测侵蚀量 Measured sediment (t)		模拟侵蚀量 Simulated sediment (t)	误差 Error (%)
				悬移质 Suspended bad	推移质 Bed bad		
1997-07-31	194 600	188 300	- 3.24	1 721	300	2 674	+ 32.3
1998-07-05	785	863.1	+ 10	3.1	4.5	10.59	+ 39.34

注:模拟误差=(模拟值-实测值)/实测值 $\times 100$ Note: Error=(simulated-measured)/measured $\times 100$

通过水文模型与 GIS 耦合的方法,对试验流域 1997-07-31 和 1998-07-05 两场分别代表中等强度和强度降水的径流量和侵蚀量进行了模拟结果检验,结果如表 5 所示。场降雨径流量和侵蚀量的模拟误差分别为-3.24、+10 和+32.3、+39.34,对径流量的模拟要好于侵蚀量的模拟。应该指出的是,在 SCS 模型中, C_n 值的确定对于模拟结果非常重要,

而前期土壤湿润程度又在很大程度上决定着 C_n 值的大小,它不仅与前 5 天的降雨量有关,而且还与研究区观测(或模拟)期气候的干燥和湿润程度有关。值得肯定的是,该模型在预测场降雨侵蚀量方面仍然具有一定的精度,经过进一步的模型检验,该模型可以用于研究区场降雨土壤侵蚀量的预测预报,进而服务于水源保护林的经营和管理。

6 结 论

1) 通过流域水文模型与 GIS 系统耦合的方法, 实现了试验流域土壤侵蚀过程的分布式模拟。

2) 对试验流域 1996~1998 年 8 场典型降雨土壤侵蚀量空间分布模拟的结果显示, 裸荒地场降雨产沙量占场降雨侵蚀总量的 92.47%~100%, 水源保护林地(包括刺槐和油松林地)的产沙量占总侵蚀量的 15.23%~7.53%。

3) 对试验流域 1997-07-31 和 1998-07-05 两场典型降雨径流量和侵蚀量的模型检验显示, 场降雨径流量和侵蚀量的模拟误差分别为 -3.24、+10 和 +32.3、+39.34, 对径流量的模拟值要好于侵蚀量的模拟值。

参 考 文 献

[1] Eswaran H, Kimble J. Land quality assessment and monitoring: The next challenge for soil science. *Pedosphere*, 2003, 13(1): 1~10

[2] Al-Abed M, Shi Z, Yaghi A, *et al.* An integrated GIS/RS approach for soil erosion assessment and modeling in Syrian coastal soils. *Pedosphere*, 2001, 11(2): 167~174

[3] Morgan R P C, Quinton J N, Smith R E, *et al.* The European soil erosion model (EUROSEM): A dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth Surf. Process. Landforms*, 1998, 23: 527~544

[4] 张洪江. 晋西几种不同土地利用状况下糙率系数的研究. 北京林业大学学报, 1994, 16(增刊 4): 86~91. Zhang H J. Study on the coefficient of roughness of different land uses in the west of Shanxi Province(In Chinese). *Journal of Beijing Forestry University*, 1994, 16(Supp. 4): 86~91

[5] 吴长文. 水土保持林中枯落物的作用. 中国水土保持, 1993, 11: 28~30. Wu C W. Study on the function of forest litter in the soil and water conservation(In Chinese). *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 1993, 11: 28~30

[6] Qin Y S, Yu X X. Study on water intercepting and retarding characteristics of forest litters in the upper stream of Miyun Reservoir. *Forestry Studies in China*, 2000, 2(1): 58~62

[7] 于志民, 王礼先主编. 水源涵养林效益研究. 北京: 中国林业出版社, 1999. 168~186. Yu Z M, Wang L X. eds. Study on the benefit of forest for water resource conservation(In Chinese). Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 1999. 168~186

[8] Gilley J E, Kincaid D C, Elliot W J, *et al.* Sediment delivery on rill and interrill areas. *J. Hydrol.*, 1992, 140: 313~341

[9] Ferro V. Testing a distributed approach for modelling sediment delivery. *Hydrology Science*, 1998, 43(3): 425~442

[10] Walling D E. The sediment delivery problem. *J. Hydrol.*, 1983, 65: 209~237

MODELING OF THE EROSION PROCESS OF FORESTED WATERSHED FOR WATER RESOURCE PROTECTION IN NORTH CHINA

Qin Yongsheng¹ Liu Song¹ Yu Xinxiao² Wang Xiaoping¹ Zhou Jinxing³

(1 Beijing Municipal Bureau of Forestry, Beijing 100029, China)

(2 Soil and water conservation collage, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

(3 Research institute of forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract Based on field investigation of the land use, erosion distribution of an experimental forest catchment exposed to eight typical events of rainfall from 1996 to 1998 was modeled with the aid of the GIS and a number of models, which cover canopy interception, roughness of litters, SCS hydrology, sediment calculation and transferring rate of runoff plot. The results show that the event sediment of bare lands and water resource protection forest accounts for 92.47%~100% and 15.23%~7.53% of the total erosion sedimentation, respectively. Verification of the models based on the two typical events of 1997-07-31 and 1998-07-05 indicates the error of simulated runoff discharge and sediment were -3.24%, +10% and +32.3%, +39.34%, respectively.

Key words Water resource protection forest; Soil erosion modeling; GIS; Mountain and stony area